

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討-第 14 報:Twisted String Actuator のためのUHMPE ロープの繰返しねじり耐久性-
Title(English)	Basic Study for Wire Driving with Synthetic Fiber Rope -14th Report: Repetitive Twisting Durability of UHMPE Ropes for Twisted String Actuator-
著者(和文)	定近 晋也, 難波江 裕之, 遠藤 玄
Authors(English)	Shinya Sadachika, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
出典(和文)	第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 予稿集, , ,
Citation(English)	Proceedings of the 24th SICE System Integration Division Annual Conference, , ,
発行日 / Pub. date	2023, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は公益社団法人計測自動制御学会に帰属します。 (c) 2023 The Society of Instrument and Control Engineers

高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討

-第 14 報：Twisted String Actuator のための UHMPE ロープの繰返しねじり耐久性-

○定近 晋也（東京工業大学）、難波江 裕之（東京工業大学）、遠藤 玄（東京工業大学）

Basic Study for Wire Driving with Synthetic Fiber Rope

-14th Report: Repetitive Twisting Durability of UHMPE Ropes for Twisted String Actuator-

○ Shinya SADACHIKA (Tokyo Tech), Hiroyuki NABAE (Tokyo Tech), and Gen ENDO (Tokyo Tech)

Abstract: Lightweight and highly flexible synthetic fiber ropes are widely used in Twisted String Actuator (TSA) and other robot drive systems. In this study, we focus on UHMPE ropes with high strength and evaluate their durability against repetitive twisting. In an environment in which two ropes simulating TSA were placed in parallel, the ropes were subjected to repetitive twisting with tension and diameter as parameters. The ropes were then evaluated by comparing their tensile strength. From these experimental results, it is clear that tension and diameter have a significant effect on durability.

1. 緒言

化学繊維ロープはステンレスロープに比べ軽量かつ高い可とう性をもつことから、多くの分野で利用されている。中でも超高密度ポリエチレン (UHMPE) ロープは従来のステンレスロープの 1/5 の密度であるにもかかわらず、1.5 – 2 倍の破断強度を有する。これらの強みを活かし、Twisted String Actuator (TSA) を始めとするロボット駆動系に採用されている。この TSA では、2 本 1 組のロープをモータでねじることで収縮力を発生させ、ロボットの動作を実現する。ロープ自体が駆動系を成すため一般的な駆動系と異なり、減速機を不要とし、コンパクトなシステムを構築しうる。

一方で、化学繊維ロープをロボット駆動系として用いる場合の物理的特性に関する情報は少ない。とりわけ、TSA を始めとするロープが繰返しねじりを受けるロボット駆動系の設計においては、ねじりに対する耐久性評価とそれに基づくロープの選定が必要である。

化学繊維ロープの繰返しねじりを検討した従来研究では、張力やねじれ角に応じた耐久性が示されている。Usman ら^[1] はねじれ角やロープ張力の増加により、ライフサイクルが指数関数に減少することを明らかにしている。その一方で、ロボットへの適用を踏まえたロープ選定・駆動系設計において必要となる、繰返しねじりに伴う破断強度の変化については言及されていない。また、筆者ら^[2] は繰返しねじりに対して、様々な化学繊維ロープの中で UHMPE ロープが破断強度の低下が少ないことを確かめた。加えて、UHMPE ロープを 2 本並列に並べた際において、ねじれ角の増加に伴って破断強度が低下することが確かめられた。しかし、張力やロープ径に対する強度変化に関する議論はされておらず、ロボット駆動系設計においては情報が不十分である。

そこで、本研究では高い破断強度を有する UHMPE ロープに着目し、TSA を模した繰返しねじり環境下において、ロープの破断強度低下について検討する。具体的には、張力およびロープ径をパラメータとした

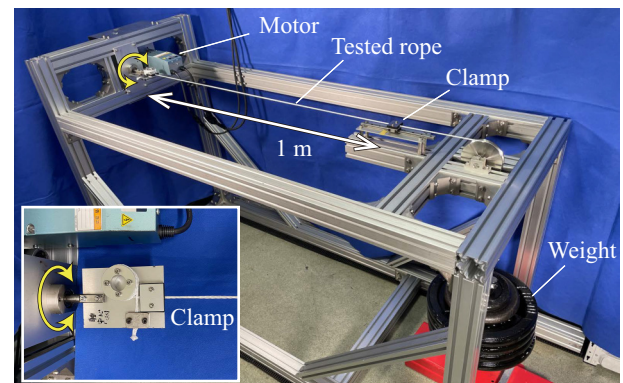


Fig.1 Test apparatus for repetitive twisting test.

場合において、繰返しねじりが破断強度に与える影響について検証する。最後にこれらの実験結果を比較することで、TSA における UHMPE ロープの有効性について議論する。

2. 実験

2.1 使用したロープおよび試験方法

使用したロープは表 1 に示す通りである。ロープは径 2 mm もしくは 3 mm のものを使用した。なお、ねじれに伴うロープの解けが生じないように、いずれも 8 打ちロープを採用した。

繰返しねじり試験は図 1 に示す試験機^[2]を使用した。試験機を通してねじりを受けるロープの片端は重りに接続されており、反対の片端はモータに接続されている。また、ロープは左右ともに平板でクランプされ、ねじりを受ける長さが一定となるように固定される。以上の方法によりモータを回転させることで、所定の角度だけロープにねじりを負荷することが可能となる。ロープに繰返しねじりを負荷した後、引張試験機（島津製作所製、AG-I）を用いて被ねじり部のロープの破断試験を行うことで引張強度を得た。なお、各条件における引張強度は 4 本のサンプルの平均値を採用した。

Table 1 Ropes tested in repetitive twisting experiments

Name	Model	Diameter [mm]	Supplier	Tensile strength [kN]		Fiber	Structure
				Measured	Estimated		
Dyneema2	DB-96HSL 	2	Hayami Industry	4.93	7.81	Dyneema® SK-71 UHPE	2640 dtex × 8 strand braid
	DB-192HSL 	3	Hayami Industry	9.52	15.63	Dyneema® SK-71 UHPE	5280 dtex × 8 strand braid

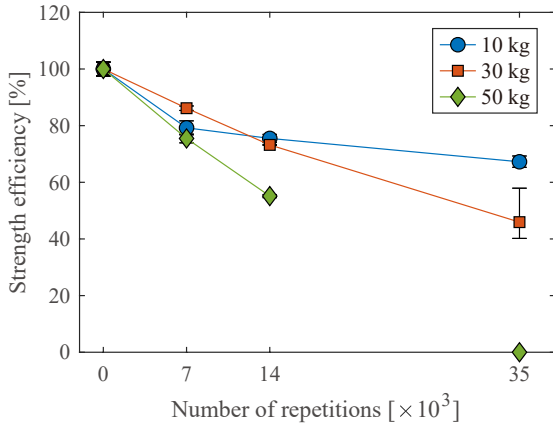


Fig.2 Relationship between tension and tensile strength. The markers show the average value and the error bar show the standard error.

また、ロープの評価には以下に定義する強度効率を用いた。

$$\text{Strength efficiency} = \frac{\text{Tensile strength after repetitive twisting}}{\text{Tensile strength before repetitive twisting}} \% \quad (1)$$

2.2 張力と破断強度の関係

径 2 mm の Dyneema2 における張力と引張強度の関係を図 2 に示す。本試験では、ねじれ角を 1440 deg/100 mm、張力を 10, 30, 50 kgf と設定した。図 2 より、張力の増加に伴い引張強度が低下した。なお、50 kgf では規定の繰り返し回数に達するまでに破断したため、便宜上、強度効率を 0% と表記している (図 3 も同様)。また、張力の増加に伴い、ねじりによる線形収縮量が減少することが確かめられた。これはロープ張力がねじりを解くように作用するためであり、この時に発生するロープ同士の摩擦によりロープに損傷が与えられ、結果として破断強度が低下したと推察される。

2.3 ロープ径と破断強度の関係

径 2, 3 mm の Dyneema2 におけるロープ径と破断強度の関係を図 3 に示す。本試験では、ねじれ角を 1440 deg/100 mm、張力を 50 kgf と設定した。図 3 より、径が大きくなる場合では破断強度なっていることが分かった。これは、径が大きくなることによりロープの線形収縮量が大きくなるものの、損傷を受ける範囲が

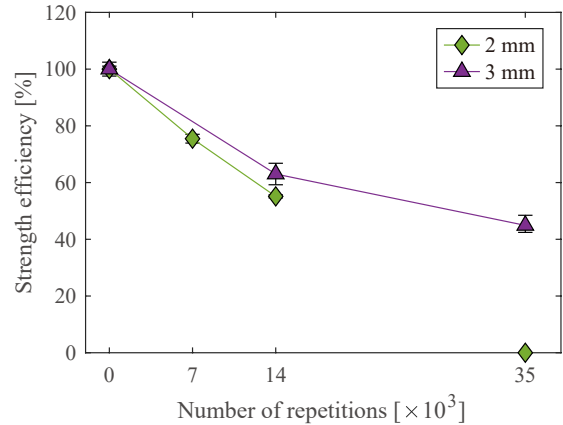


Fig.3 Relationship between diameter and tensile strength. The markers show the average value and the error bar show the standard error.

小さいためであると考えられる。

3. 結言

本研究では、UHMPE ロープの繰り返しねじり特性として、TSA を模した環境で引張強度の推移について検証した。ロープ張力の増加に伴い、繰り返しねじりによるロープの損傷が生じ、引張強度が低下した。一方で、ロープ径の増加により引張強度の低下が抑制されることが確かめられた。今後は、熱延伸処理を施した UHMPE ロープとの比較や TSA における端部固定法について検討する予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22H03668 の助成を受けたものです。また、実験には東京工業大学工学院機械系轟・水谷研究室の引張試験機を使用しました。ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] Muhammad Usman et al.: "A study on life cycle of twisted string actuators: Preliminary results". *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2017, pp. 4680–4685. doi: 10.1109/IROS.2017.8206339.
- [2] Shinya Sadachika, Hiroyuki Nabae, and Gen Endo: "Repetitive Twisting Durability of Synthetic Fiber Ropes". *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2023, pp. 7412–7418.